

REC'D 20 SEP 2002

WIPO

PCT

PCT/KR 02/01605

RO/KR

26.08.2002

10/507370

21 SEP 2004



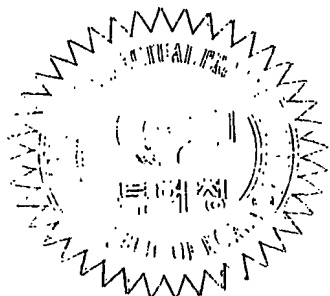
별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원 번호 : 특허출원 2002년 제 16154 호  
Application Number PATENT-2002-0016154

출원 년 월 일 : 2002년 03월 25일  
Date of Application MAR 25, 2002

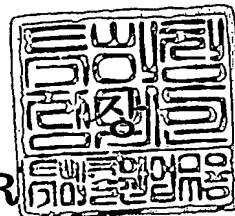
출원인 : 학교법인 포항공과대학교  
Applicant(s) POSTECH FOUNDATION



2002 년 08 월 19 일

특 허 청

COMMISSIONER



PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

## 【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0004
【제출일자】	2002.03.25
【발명의 명칭】	선반용 STEP-NC 시스템에 있어서 델타 볼륨 분해 및 공정 계획을 자동으로 생성하는 방법
【발명의 영문명칭】	METHOD FOR AUTOMATICALLY GENERATING DELTA VOLUME DECOMPOSITION AND PROCESS PLANNING FOR USE IN TURNING STEP-NC
【출원인】	
【명칭】	학교법인 포항공과대학교
【출원인코드】	2-1999-900096-8
【대리인】	
【성명】	장성구
【대리인코드】	9-1998-000514-8
【포괄위임등록번호】	2000-016240-3
【대리인】	
【성명】	김원준
【대리인코드】	9-1998-000104-8
【포괄위임등록번호】	2000-016243-5
【발명자】	
【성명의 국문표기】	서석환
【성명의 영문표기】	SUH, Suk-Hwan
【주민등록번호】	520504-1009416
【우편번호】	790-784
【주소】	경상북도 포항시 남구 효자동 산 31 포항공과대학교 산업 공학과
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	천상욱
【성명의 영문표기】	CHEON, Sang-Uk
【주민등록번호】	701001-1918810
【우편번호】	790-784

**【주소】** 경상북도 포항시 남구 효자동 산 31 포항공과대학교 산업  
공학과  
**【국적】** KR  
**【발명자】**  
**【성명의 국문표기】** 이병언  
**【성명의 영문표기】** LEE, Byeong-Eon  
**【주민등록번호】** 761107-1691810  
**【우편번호】** 790-784  
**【주소】** 경상북도 포항시 남구 효자동 산 31 포항공과대학교 산업  
공학과  
**【국적】** KR  
**【취지】** 특허법 제42조의 규정에 의하여 위와 같이 출원합니다. 대  
리인 장성  
구 (인) 대리인  
김원준 (인)  
**【수수료】**  
**【기본출원료】** 20 면 29,000 원  
**【가산출원료】** 30 면 30,000 원  
**【우선권주장료】** 0 건 0 원  
**【심사청구료】** 0 항 0 원  
**【합계】** 59,000 원  
**【감면사유】** 학교  
**【감면후 수수료】** 29,500 원  
**【첨부서류】** 1. 요약서·명세서(도면)\_1통

**【요약서】****【요약】**

본 발명은 선반 가공의 자동화 수준 제고를 위한 공정 계획 수립 분야를 자동화하기 위한 방법에 관한 것이다. 본 발명은 선반에서의 회전체의 절삭 가공을 위하여, CAD 모델 데이터를 입력하여, 상기 CAD 데이터로부터 제거할 형상을 절삭 공구 정보에 기반한 델타 볼륨 분해를 통해 인식하고, 분해된 델타 볼륨을 가공할 순서를 비선형적 계획으로 나타내는 방법에 관한 것이다. 본 발명은 차세대 CNC 제어기인 STEP-NC(STEP-compliant CNC)의 핵심 부분인 자동화 SFP(shop-floor programming) 시스템을 개발하는 데 필수적인 방법론을 제시한다. 본 발명은 공구를 고려하지 않고 델타 볼륨을 분해하고, 가공이 아닌 형상의 특징에 따라 분해를 하여, 분해 결과가 가공에 적합하지 못하거나 가공을 위해 후처리가 필요한 종래의 문제점을 해결하기 위하여, 절삭 공구 정보를 이용하여 델타 볼륨을 분해하고, 델타 볼륨 분해 정보를 바탕으로 공정 계획을 자동 생성하는 기술적 방법이다.

**【대표도】**

도 38

## 【명세서】

## 【발명의 명칭】

선반용 STEP-NC 시스템에 있어서 델타 볼륨 분해 및 공정 계획을 자동으로 생성하는 방법{METHOD FOR AUTOMATICALLY GENERATING DELTA VOLUME DECOMPOSITION AND PROCESS PLANNING FOR USE IN TURNING STEP-NC}

## 【도면의 간단한 설명】

- 도 1은 선반 가공 형상과 공구와의 관계를 나타내는 도면,  
도 2는 본 발명에 의한 기본 델타 볼륨과 복합 델타 볼륨을 설명하는 도면,  
도 3은 본 발명에 의한 고유 델타 볼륨, 주 델타 볼륨과 미절삭 델타 볼륨을 설명하는 도면,  
도 4는 선반 공구의 중요 파라미터와 추상화 공구를 나타내는 도면,  
도 5는 추상화 공구에 의한 가공을 나타내는 도면,  
도 6은 도 2의 윤곽을 모노톤운 체인으로 나타낸 도면,  
도 7은 가공 윤곽에 해당하는 모노톤운 체인과 기준선을 설명하는 도면,  
도 8은 모노톤운 체인의 기준선과 추상화 공구의 관계를 설명하는 도면,  
도 9는 비모노톤운 체인을 처리하는 방법과 그에 따른 공구 설정을 설명하는 도면,  
도 10은 곡선 세그먼트의 모노톤운 여부를 계산하는 방법을 설명하는 도면,  
도 11은 절삭 공구의 절삭 가능 영역을 설명하는 도면,  
도 12는 절삭 공구의 절삭 가능 영역을 계산하는 방법을 설명하는 도면,  
도 13은 SED와 EED에 따른 공구와 소재의 간섭 여부를 설명하는 도면,

도 14는 미절삭 영역이 생기는 특징점을 설명하는 도면,

도 15는 주 델타 볼륨과 미절삭 델타 볼륨을 설명하는 도면,

도 16은 미절삭 델타 볼륨을 계산하는 방법을 설명하는 도면,

도 17은 고유 델타 볼륨을 설명하는 도면,

도 18은 고유 델타 볼륨을 인식하는 방법을 설명하는 도면,

도 19는 가공 윤곽의 비모노토운 체인에 해당하는 부분을 처리하는 방법을 설명하는 도면,

도 20은 기준선의 방향에 따른 모노토운 체인의 변화를 설명하는 방법,

도 21은 복잡한 소재 형상에 대하여 델타 볼륨을 분해하는 과정을 나타내는 도면,

도 22는 델타 볼륨 위상 그래프를 설명하는 도면,

도 23은 델타 볼륨 분해 결과에 대응하는 델타 볼륨 위상 그래프를 설명하는 도면,

도 24는 델타 볼륨 위상 그래프에서 보조 관계를 설명하는 도면,

도 25는 델타 볼륨 위상 그래프와 해당 가공 오퍼레이션의 관계를 설명하는 도면,

도 26은 델타 볼륨 위상 그래프와 상응하는 비선형 공정 계획 그래프를 나타내는 도면,

도 27은 선반 복합 가공기의 구성을 나타내는 도면,

도 28은 선반 가공 작업 쉬트를 나타내는 도면,

도 29는 도 28의 선반 가공 작업에 해당하는 비선형 공정 계획 그래프를 나타내는 도면,

도 30은 도 29 의 비선형 공정 계획을 도 27 의 선반 복합 가공기에서 가공하는 순서를 나타내는 도면,

도 31은 허용 오차의 표기 방법을 설명하는 도면,

도 32는 표면 조도의 표기 방법을 설명하는 도면,

도 33은 표면 조도를 나타내는 값을 설명하는 도면,

도 34는 2 차 정삭에 해당하는 비선형 공정계획 그래프를 나타내는 도면,

도 35는 선반 복합 가공기를 이용하여 가공할 때, 델타 볼륨 분해 예를 설명하는 도면,

도 36은 도 35 의 델타 볼륨 분해 결과에 해당하는 비선형 공정 계획 그래프를 나타내는 도면,

도 37은 본 발명에 따른 델타 볼륨을 분해하고 공정 계획을 자동 생성하는 시스템의 입출력 및 제어 메커니즘을 설명하는 블록도,

도 38은 본 발명에 따른 델타 볼륨을 분해하고 공정 계획을 자동 생성하는 순서를 나타내는 블록도,

도 39는 도 38 의 A1을 상세화하여, CAD 형상 데이터를 처리하는 절차를 설명하는 블록도,

도 40은 도 38 의 A2를 상세화하여, 기계 구성을 고려하는 방법을 설명하는 블록도

도 41은 도 38 의 A3를 상세화하여, 델타 볼륨을 분해하는 순서를 설명하는 블록도

도 42은 도 38 의 A4를 상세화하여, 비선형 공정 계획 그래프를 생성하는 순서를 설명하는 블록도,

도 43은 도 38 의 A5를 상세화하여, 비선형 공정 계획 그래프로부터 ISO 14649 파트 프로그램을 생성하는 순서를 나타내는 블록도.

### 【발명의 상세한 설명】

### 【발명의 목적】

### 【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <44> 본 발명은 선반 가공의 자동화 수준 제고를 위한 공정 계획 수립 분야를 자동화하기 위한 선반용 STEP-NC 시스템에 있어서 델타 블록 분해 및 공정 계획을 자동으로 생성하는 방법에 관한 것이다.
- <45> 본 발명은 선반에서의 회전체의 절삭 가공을 위하여, CAD 모델 데이터를 입력하여, 상기 CAD 데이터로부터 제거할 형상을 절삭 공구 정보에 기반한 델타 블록 분해를 통해 인식하고, 분해된 델타 블록을 가공할 순서를 비선형적 계획으로 나타내는 방법에 관한 것이다. 본 발명은 차세대 CNC 제어기인 STEP-NC(STEP-compliant CNC)의 핵심 부분인 자동화 SFP(shop-floor programming) 시스템을 개발하는 데 필수적인 방법론을 제시한다.
- <46> 선반 가공의 자동화를 위한 기존의 방법들은 선반 가공의 특징을 반영하지 못한 채, 가공특징형상의 인식을 위주로 이루어졌다. 종래에 제안된 방법들은 대부분 (i) 파일로 입력된 가공 윤곽 정보를 처리하는 전처리; (ii) 가공특징형상 인식; (iii) 인식 후 결과를 출력하는 후처리에 대한 방법을 구체적으로 기술하였지만, 비교적 단순한 가공특징형상 인식 방법을 사용하여 현장에서 실제로 적용하기 곤란한 측면이 있다. 이



러한 일련의 방법들은 1개의 절삭 공구로 가능한 한 많은 볼륨을 제거하는 선반 가공의 특징을 반영하지 못한 채, 동시에 가공될 수 있는 가공특징형상 들을 분리하여 인식하는 단점을 가진다. 기존 연구된 방법들은 공구를 고려하지 않고 델타 볼륨을 분해하여, 가공이 아닌 형상의 특징에 따라 분해를 하여, 분해 결과가 가공에 적합하지 못하거나 가공을 위해 후처리가 필요한 문제점을 가진다. 한편, CNC 제어기에 탑재되어 있는, 대표적인 상용 가공 지원 시스템인 Fanuc사의 Fanuc 15-TF와 Mazak사의 Mazatrol T32-2의 경우, CAD 파일 인터페이스를 지원하지 않고, 가공특징형상을 수동으로 정의하여 가공 형상을 설계하지만 형상 설계가 번거롭고, 공정 계획을 사용자가 수동으로 지정해야 하며, 절삭 공구에 따른 미절삭 영역을 처리하기 어렵다. 오프라인 CAM 시스템인 TekSoft사의 ProCAM 2D는 CAD 파일 인터페이스를 지원하며 형상 설계가 쉽고, 미절삭 부분을 자동 계산하지만, 가공특징형상의 개념이 없어서 델타 볼륨을 사용자가 수동으로 지정해야 한다. 곧, 종래의 방법들은 가공특징형상 인식(본 발명에 따르면, 선반 가공의 경우, 델타 볼륨 분해라고 표현하는 것이 맞다)과 공정 계획 생성을 고려할 때, CAD 모델로부터 델타 볼륨을 자동으로 분해하고, 이 정보를 이용하여 공정 계획을 자동으로 생성하지 못한다.

<47> 따라서, 상기한 문제점을 해결하기 위하여, 절삭 공구 정보를 이용하여 델타 볼륨을 분해하고, 델타 볼륨 분해 정보를 바탕으로 공정 계획을 자동 생성하는 기술적 방법이 필요하다.

#### 【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<48> 본 발명은 상술한 종래 기술의 결점을 개선하기 위해 안출한 것으로, 소재로부터 최종 가공 형상을 얻기 위하여 제거해야 할 볼륨인, 델타 볼륨을 절삭 공구 정보를 이용

하여 분해하고, 델타 볼륨간의 위상 관계를 이용하여 공정 순서를 자동 생성하는 방법을 제공하는 데 그 목적이 있다.

### 【발명의 구성 및 작용】

<49> 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시 예를 상세히 설명한다.

<50> 선반 가공을 위한 최종 가공 형상은 전체적으로 하나의 윤곽으로 표현되고, 즉, 공간적으로 연결되어 있고, 사용 절삭 공구에 따라 가공특징형상의 모양이 달라진다. 따라서, 선반 가공특징형상 인식은 소재로부터 최종 가공 형상을 얻기 위하여 제거해야 할 볼륨인, 델타 볼륨을 분해하는 것으로 이해하는 것이 바람직하다. 선반 가공은 공작물의 형상이 축대칭이고 주축의 회전과 절삭 공구의 2차원 이동으로 공작물을 가공하므로, 델타 볼륨의 형상을 2차원 윤곽 곡선으로 표현할 수 있다. 델타 볼륨을 결정하기 위해 고려해야 할 선반 가공의 특징은 (i) 절삭 공구로 가능한 한 많은 볼륨을 제거한다; (ii) 절삭 공구의 종류에 따라 선반 가공 형상이 결정된다. 곧, 절삭 공구의 종류에 따라 공작물의 형상에 가공할 수 있는 부분과 가공할 수 없는 부분이 존재한다; (iii) 특정한 공구로 가공해야 하는 가공 형상이 존재한다. 선반 가공에서는 가공 형상에 따라 (i) 절삭 공구의 종류, (ii) 인서트의 가공 방향, 곧 가상 인선의 위치와 (iii) 공구 홀더의 방향이 달라진다. 도 1은 모양은 동일하지만 방향이 다른 가공 형상에 대해 절삭 공구의 가상 인선의 위치가 달라지는 것을 보여준다.

<51> 선반 가공에서 델타 볼륨 분해는 절삭 공구의 종류에 따라 달라진다. 곧, 델타 볼륨 분해는 선택한 절삭 공구로 가공할 수 있는 영역을 나누는 것이다. 본 발명에서는 어떤 델타 볼륨을 1 개의 절삭 공구로 완전히 가공할 수 있으면 기본 델타 볼륨(simple delta volume)이라 정의한다. 기본 델타 볼륨(simple delta volume)은 1개의 절삭 공구

로 완전히 가공 가능한 델타 볼륨이고, 복합 델타 볼륨(compound delta volume)은 완전 가공을 위해 2개 이상의 절삭공구가 필요한 델타 볼륨이다. 도 2a의 델타 볼륨 A는 1 개의 공구로 가공 가능한 기본 델타 볼륨, 도 2b의 델타 볼륨은 각각 1 개의 공구를 필요로 하는 2 개의 기본 델타 볼륨  $A_1$ 과  $A_2$ 로 이루어진 복합 델타 볼륨의 예를 나타낸다. 본 발명에서는 다시 기본 델타 볼륨을 주(主) 델타볼륨(primary delta volume), 미절삭 델타 볼륨(uncut delta volume)과 고유 델타 볼륨(inherent delta volume)으로 나눈다. 도 3은 주 델타 볼륨, 미절삭 델타 볼륨, 고유 델타 볼륨을 나타내는 도면으로 각 델타 볼륨에 대한 상세 설명은 아래에 기술한다.

<52> 선반 절삭 공구에서 가공에서 필요한 정보만을 표시하면 도 4a와 같다. 도 4a에서  $W_H \rightarrow 0$ ,  $L_H \rightarrow \infty$ ,  $R \rightarrow 0$  으로 설정하면, 도 4b와 같이 반 무한 직선과 선분으로 공구를 표현할 수 있다. 본 발명에서는 이를 추상화 공구라고 한다. 추상화 공구는 선반 가공 형상의 특징에 대한 중요한 아이디어를 제공한다. 위 변수 중 터릿(turret)에 장착되는 공구의 방향, 즉,  $D_H$ 는 선반 좌표계에서  $(1,0,0)$ ,  $(-1,0,0)$ ,  $(0,0,1)$ ,  $(0,0,-1)$ 의 4 방향으로 제한되고,  $L_H$ ,  $W_H$ ,  $R$ 의 값을 고려하지 않으면, 가공 가능한 영역을 결정하는 값은  $\alpha_s$ 와  $\alpha_E$ 이다. 도 5와 같은 가공 형상이 있을 때, 무한대의 +X 방향에 방향(directional) 광원이 있다고 생각하자. 이 광원에서 나온 빛(ray)이 형상을 지날 때, 도 5의 A 부분은 빛이 도달하지 않아서 어둡게 될 것이다. 이러한 빛을 앞에서 기술한 추상화 공구로 바꾸어 생각하면, A 부분은 추상화 공구에 의해서 가공할 수 없는 영역에 해당한다. 여기에 모노톤 체인(monotone chain)이라는 개념을 도입하여 기술할 수 있다. 체인(chain)은 점  $\{u_1, \dots$

" $p$ "과 에지 $\{(u_i, u_{i+1}): i = 1, \dots, p-1\}$ 로 된 평면상의 선분 그래프이다. 체인  $C = (u_1, \dots, u_p)$ 와 어떤 직선  $L$ 에 수직인 임의의 직선  $L^0$ 이 한 점에서만 만나면,  $C$ 는 직선  $L$ 에 모노톤(monotone)하다. 이는 다시 완전 모노톤(strictly monotone)과 모노톤(monotone)으로 나누어지는데,  $L$ 과  $L$ 에 수직인 임의의 직선  $L^0$ 의 교집합이 점이면 완전 모노톤, 점 또는 선분이면 모노톤이라 한다.

<53> 본 발명에서는 추상화 공구를 이용한 가공 가능 영역 계산, 모노톤 체인의 개념과 기본 델타 볼륨의 정의로부터 다음의 가설의 이끌어낸다. 기본 델타 볼륨의 윤곽은 모노톤 체인이다. 도 6은 상기 가설을 설명하는 도면이다. 도 2a의 기본 델타 볼륨  $A_1$ 의 윤곽인 도 6a의  $C_1$ 은 직선  $L_1$ 에 대하여 모노톤하다. 도 2b의 복합 델타 볼륨( $A_1 + A_2$ )의 윤곽은 어떤 임의의 직선에 대해서도 모노톤하지 않지만, 델타 볼륨  $A_1$ 과  $A_2$ 로 분해하면, 분해된 델타 볼륨에 해당하는 윤곽(도 6b의  $C_2$ 와  $C_3$ )은 각각  $L_2$ 와  $L_3$ 에 대해 모노톤하다.

<54> 모노톤 체인과 절삭 공구와의 관계는 다음과 같다. 도 7에서 실선 부분이 가공할 영역에 해당하는 체인이라 할 때, 각 체인은 직선  $L_1, L_2, L_3$ 에 대하여 모노톤하다. 이러한 직선을 모노톤 체인의 기준선이라 하자. 모노톤 체인의 기준선은 다음과 같이 구할 수 있다. 체인의 모든 세그먼트(segment)가 선분이라고 가정하면, 각 세그먼트에 수직인 직선을 차례로 구하고, 구한 직선이 모든 세그먼트에 대해 모노톤 하면 그 직선을 모노톤 체인의 기준선으로 설정한다. 모노톤 체인의 기준선은 체인에 해당하는 델타 볼륨을 가공할 절삭 공구를 결정하는데 사용될 수 있다. 도 8은 모노톤 체인의 기준선과 추상화 공구간의 관계를 보여준다. 도 8로부터 모노톤 체인의 기준선과

추상화 공구의 인서트 부분이 이루는 각도가 수직에 가깝게 되도록 공구를 선택하는 것이 바람직하다는 사실을 알 수 있다. 한편, 도 9에서 두꺼운 실선 부분이 가공할 영역에 해당하는 체인일 때, 모노톤 체인의 기준선에 따라 도 9a와 같이 5 개, 도 9b와 같이 1 개의 모노톤 체인이 구해진다. 도 9a 의 경우, 모노톤 체인의 기준선에 근거하여 선택한 절삭 공구는  $MC_1$ ,  $MC_2$ ,  $MC_3$ 에 해당하는 부분을 가공하기 어렵다. 그러나, 도 9b와 같이 모노톤 체인의 기준선에 근거하여 선택한 절삭 공구로는 모든 부분을 가공할 수 있다.

<55> 곡선 세그먼트의 경우는 도 10과 같이, 기준선의 방향 벡터를  $V_R$ , 곡선의 시작점에서의 접선 벡터를  $V_S$ , 곡선 내부의 임의의 점에서의 접선 벡터를  $V_U$  라 할 때, 곡선 내부의 모든 점에 대하여  $sign(V_S \cdot V_R) = sign(V_U \cdot V_R)$ 이면  $V_R$  에 대하여 모노톤하고,  $sign(V_S \cdot V_R) \neq sign(V_U \cdot V_R)$  이면 모노톤 하지 않다고 정의할 수 있다. 본 발명에서는, 가공할 윤곽에 원호를 포함한 곡선 세그먼트가 있을 경우에는, (i) 곡선 세그먼트를 임의의 허용 오차 내에서 선분으로 근사하고 (ii) 모노톤 체인으로 나눈 다음에 (iii) 모노톤 체인들로 나누어지는 분절점(trimming point)에서 원래의 곡선 세그먼트를 나누어서 처리한다. 나누어진 곡선 세그먼트를 하나의 모노톤 체인으로 간주하고, 기준선은 선분으로 근사했을 때 구한 기준선을 사용한다.

<56> 선반 절삭 공구는 절삭 가능 방향에 따라 좌승수(left hand), 우승수(right hand), 중립(neutral)로 나누어진다. 인서트의 종류와 절삭 가능 방향에 따라 절삭 공구의 절삭할 수 있는 영역이 정해지는데, 본 발명에서는 이를 절삭 가능 영역(Feasible Machining Range : FMR)이라 하고, 도 11은 절삭 가능 영역에 대한 도면이다. 절삭 가능 영역(FMR)은 절삭 가능한 방향의 범위를 나타내는, 인서트의 가상 인선에서의 각도 범

위이다. 절삭 가능 영역은 바이트에 장착된 인서트의 리이드각(side cutting edge angle)과 부절입각(end cutting edge angle)으로 표현된다. 수직선을 기준으로 시계 방향을 양의 방향으로 하는 리이드각을  $\alpha_s$ , 수평선을 기준으로 반시계 방향을 양의 방향으로 하는 부절입각을  $\alpha_e$  라 하면, 절삭 가능 영역은  $[90^\circ - \alpha_s, 180^\circ + \alpha_e]$ 이다(도 12). 선반 인서트의 리이드각과 부절입각은 인서트와 가공 소재의 간섭을 계산하는 기준이 된다. 본 발명에서는 도 13과 같이 인서트의 가상인선에서 side cutting edge를 따라 홀더와 가까워지는 방향을 SED(side cutting edge direction), end cutting edge를 따라 홀더와 멀어지는 방향을 EED(end cutting edge direction)이라 정의한다.

<57> 도 14와 같이, 수평선에 모노토운한 윤곽을 따라 가공을 할 때, 점  $V_1, V_2, V_3$ 에서 EED 방향으로 쏜 광선(ray)은 소재의 내부를 지나지만, 점  $V_4$ 에서 쏜 광선은 소재의 내부를 지나지 않는다. 본 발명에서는 이러한 점을 특징점(characteristic vertex)라 정의한다. 곧, 소재의 윤곽의 임의의 점에서 EED 방향으로 쏜 광선이 소재의 내부를 지나지 않으면, 그 점을 특징점(characteristic vertex)이라 한다. 특징점으로부터 선택한 절삭 공구로 가공 불가능한 영역을 계산할 수 있다. 윤곽을 따라 반시계 방향으로 세그먼트가 놓여있을 때, 특징점 다음의 세그먼트는 end cutting edge와의 간섭 때문에 가공할 수 없게 된다. 모노토운 체인에서 이러한 특징점은 볼록점(convex vertex)에만 나타난다. 오목점(reflex vertex)은 점에서 시작 혹은 끝나는 두 개의 세그먼트(incident 세그먼트s) 사이의 내부 각도가  $\pi$ 보다 큰 점이고, 볼록점(convex vertex)은 내부 각도가 보다 작은 점이다.

<58> 도 15는 주 델타 볼륨을 설명하는 도면이다. 최종 가공 형상과 소재의 형상이 도 15a와 같을 때, 가공해야 할 델타 볼륨은 도 15c와 같다. 이를 도 15b의 절삭 공구를 이

용하여 가공하면, 도 15d의  $A_1$ 에 해당하는 델타 볼륨만 가공 가능하고,  $A_2$ 에 해당하는 델타 볼륨은 가공 할 수 없다. 이때  $A_1$ 은 주어진 절삭 공구로 가공 가능한 최대의 델타 볼륨이다. 본 발명에서는, 이와 같이 임의의 델타 볼륨에서 주어진 절삭 공구로 가공 가능한 최대한의 볼륨을 최대 기본 델타 볼륨(maximal simple delta volume)이라 정의하고, 주 델타 볼륨(primary delta volume)은 델타 볼륨의 윤곽이 모노톤인 체인일 때, 선택한 절삭 공구로 가공 가능한 최대 기본 델타 볼륨이라고 정의한다.

<59> 주 델타 볼륨은 주어진 윤곽의 최대 모노톤인 체인(maximal monotone chain)에 대하여, 선택한 공구의 FMR 값을 이용하여 구한다. 앞의 가설에 의하여, 최대 모노톤인 체인에 해당하는 델타 볼륨은 기본 델타 볼륨이고, 이 기본 델타 볼륨에서 미절삭 델타 볼륨을 제외한 부분이 주 절삭 델타 볼륨이다. 본 발명에서는, 도 15d의  $A_2$ 와 같이, 윤곽이 모노톤인 체인인 델타 볼륨에서 최대 기본 델타 볼륨을 뺀 나머지 부분을 미절삭 델타 볼륨이라고 정의한다. 곧, 미절삭 델타 볼륨(uncut delta volume)은 델타 볼륨의 윤곽이 모노톤인 체인일 때, 델타 볼륨에서 해당 최대 기본 델타 볼륨을 뺀 나머지 델타 볼륨이다.

<60> 특징점에서의 미절삭 델타 볼륨은 다음과 같이 인식된다. 특징점을  $P_0$ 라 하고,  $P_0$ 에서 EED 방향으로 쏜 광선이 윤곽과 만나는 점을  $P_t$ 라 하면,  $P_t$ 가 세그먼트 ( $P_u$ ,  $P_{u-1}$ ) 위에 있을 때, 연속하는 일련의 세그먼트 ( $P_0$ ,  $P_1$ ), ( $P_1$ ,  $P_2$ ), ..., ( $P_u$ ,  $P_t$ ), ( $P_t$ ,  $P_0$ )을 윤곽으로 하는 볼륨이 미절삭 델타 볼륨이 된다. 도 16은 특징점에서의 미절삭 델타 볼륨 인식을 나타내는 도면이다.

<61> 도 17은 고유 델타 볼륨(inherent delta volume)을 설명하는 도면이다. 선반 가공 형상 중 컷인(cut-in)이나 그루브(groove)는 형상에 따라 제한된 공구를 사용하여 가공

해야 한다. 따라서 이러한 형상의 가공은 다른 부분의 가공과는 별도로, 다른 부분의 가공을 마친 후에 공구를 바꾸어서 가공하는 것이 일반적이다. 본 발명에서는 이러한 가공 형상에 해당하는 델타 볼륨을 고유 델타 볼륨이라고 정의한다. 즉, 고유 델타 볼륨은 델타 볼륨 형상의 특징상 제한된 절삭 공구로만 가공 가능한 기본 델타 볼륨이다. 다음의 조건 중 하나를 만족하면, 해당 세그먼트들은 고유 델타 볼륨의 윤곽이 된다. 첫째, 세그먼트가 원호이고, 시작점과 끝점 사이의 거리가  $D$ 보다 작다 (도 18a). 둘째, 서브체인  $C = \{V_i, \dots, V_{i+n}\}$ ,  $n \geq 1$ 에서,  $V_i, V_{i+n}$ 은 블록점,  $V_j, i < j < i + n$ 은 모두 오목점이고,  $|V_i - V_{i+n}| < D$  이다(도 18b).

<62> 이상에서 델타 볼륨의 종류와 각각의 인식 방법을 기술하였다. 형상이 주어졌을 때, 델타 볼륨을 주 델타 볼륨, 미절삭 델타 볼륨, 고유 델타 볼륨으로 분해 방법은 아래의 단계로 이루어진다.

<63> 단계 1. 셋업이나 기계 구성에 따라 윤곽을  $N$  개로 분할하고, 각 윤곽에 대해 아래의 과정을 행한다.

<64> 단계 2. 고유 델타 볼륨을 인식한다. 인식한 고유 델타 볼륨을 저장하고, 입력 윤곽을 갱신한다. 입력 윤곽의 갱신은 최종 가공 형상과 고유 델타 볼륨의 합집합 연산 결과 형상의 윤곽이다. 이 갱신 작업을 채움 작업(filling operation)이라 한다.

<65> 단계 3. 새로운 윤곽에서 가장 작은 개수의 모노톤 체인이 얻어지는 기준선을 구한다. 구한 기준선에 대하여 모노톤 체인을 구한다. 비모노톤 세그먼트(non-monotone 세그먼트)가 있을 경우, 아래의 비모노톤 체인 처리 방법을 따른다. 이때, 비모노톤 세그먼트 이전의 모노톤 체인이 갱신된다.



- <66> 단계 4. 여러 개의 모노톤 체인이 구해졌을 경우, 연속하는 모노톤 체인을 선택 분으로 연결한다. 이를 접합 작업(stitch operation)이라 하고, 그 결과로써 최대 모노톤 체인이 얻어진다.
- <67> 단계 5. 공구를 선택하고, 선택한 공구에 대하여 최대 모노톤 체인으로부터 주 델타 볼륨을 인식한다. 생성된 주 델타 볼륨을 저장하고, 미절삭 델타 볼륨이 생성되었을 경우, 단계 6 내지 7을 따른다.
- <68> 단계 6. 미절삭 델타 볼륨에 대해, 다른 절삭 공구 이용하여 단계 5를 수행한다. 이때, 미절삭 델타 볼륨의 윤곽이 완전 모노톤 체인이면 (i) 주 델타 볼륨 절삭에 사용된 공구에 비해 인서트 각도가 작은 인서트, 곧 FMR이 큰 공구를 사용하거나, (ii) 주 델타 볼륨 절삭에 사용된 공구의 역방향 공구를 사용한다. 미절삭 델타 볼륨의 윤곽이 수평선에 수직인 세그먼트를 가지는 모노톤 체인이면 (i) 그루빙(grooving) 인서트나 (ii) 주 델타 볼륨 절삭에 사용된 공구의 역방향 공구를 사용한다.
- <69> 단계 7. 단계 6에서 미절삭 델타 볼륨에 대해 또 다시 미절삭 델타 볼륨이 생성되면 기본 델타 볼륨으로 설정하고, 적합한 공구를 지정한다.
- <70> 도 19는 상기의 델타 볼륨 분해 방법의 단계 3에서 생성된 비모노톤 세그먼트들의 처리 방법을 나타내는 도면이다. 비모노톤 세그먼트들은 단계 3에서 얻어진 모노톤 체인중 그 세그먼트의 수가 2개 이하인 것을 말한다. 도 19a에서 두꺼운 실선 부분이 형상의 윤곽의 일부분일 때, 주어진 윤곽은 수평선에 대하여 모노톤한 5 개의 모노톤 체인,  $MC_1, \dots, MC_5$ 로 분리된다. 주어진 윤곽이 형상의 일부분이므로,  $MC_1, MC_5$ 는 여러 개의 세그먼트로 이루어져 있다고 생각하자. 먼저, 비모노톤 세그먼트  $MC_2, MC_3,$
- MC

4의 점들 중 가장 오른쪽의 볼록점(rightmost convex vertex)에서  $MC_1$ 의 모노토운 여부(monotonicity)의 기준선에 수직인 직선이  $MC_1$ 과 만나는 점을 구하고, 그 점을  $MC_1$ 의 끝점으로 갱신한다. 그리고,  $MC_1$ 에서 잘려진 세그먼트를 포함한 비모노토운 세그먼트들이 모노토운 체인이 될 수 있는 기준선을 구한다. 이때, 기준선을 구할 수 없으면 해당 윤곽은 선반에서 가공일 불가능한 형상이므로, 이는 고려할 필요가 없다. 생성된 모노토운 체인에 대해서는 델타 볼륨 분해 단계의 단계 5,6을 수행한다. 주의할 점은 생성된 모노토운 체인은 최대 모노토운 체인을 구하는 데 제외한다는 것이다. 도 20은 최종 형상이 도 20a와 같고, 상기에서 기술한 델타 볼륨 분해 단계의 단계 3의 결과가 도 20b일 때, 수평선에 대하여 비모노토운 세그먼트들인  $MC_2$ 를 앞에서 기술한 방법 대로 처리하여 도 20c의 갱신된 결과를 얻은 예를 보여준다.  $MC_2$ '는 최대 모노토운 체인을 구하는 과정에서 제외되므로, 도 20c의 결과는 도 2b의 델타 볼륨 분해 결과와 동일하다는 것을 알 수 있다.

<71> 상기에서 델타 볼륨 분해 방법이 외경 가공을 대상으로 설명되었지만, 내경 가공을 위한 델타 볼륨 분해 방법도 완전히 동일하다. 왜냐하면, 델타 볼륨 분해 방법에서 사용되는 것은 인서트의 정보이고, 홀더의 정보는 델타 볼륨 분해 후 홀더의 길이와 너비를 고려하여 구해진 델타 볼륨의 가공 여부 만을 판단하기 때문이다. 내경 가공을 위한 홀더의 방향은 선반 좌표계 Z축과 항상 평행하다는 점이 다를 뿐이다.

<72> 도 21은 상기 델타볼륨분해 단계에 따라 델타 볼륨을 분해하는 예이다. 최종 가공 형상이 도 21a와 같을 때, 먼저 셋업에 따라 가공해야 할 윤곽을 분할 한다(셋업 A & 셋업 B). 각각의 셋업에 대하여 고유 델타 볼륨을 인식한 다음(도 25b), 채움 작업을 통해 윤곽을 갱신한다. 갱신한 윤곽에서 모노토운 체인들을 찾고, 비모노토운 세그먼트들

로부터 기본 델타 볼륨을 생성하고, 접합 작업(stitch operation)을 통해 최대 모노톤운 체인을 구한다. 최대 모노톤운 체인으로부터 주 델타 볼륨과 미절삭 델타 볼륨을 구한다 (도 25c,d).

<73>      상기에서 기술한 델타 볼륨 분해 방법에 따른 델타 볼륨간에는 도 22와 같은 위상 관계가 존재한다. 도 22에서 부 델타 볼륨(secondary delta volume)은 앞에서 기술한 미절삭 델타 볼륨을 가리킨다. 곧, 부 델타 볼륨은 주 델타 볼륨을 가공한 후에 가공해야 하며, 고유 델타 볼륨은 주 델타 볼륨을 가공한 후 또는 주 델타 볼륨과 부 델타 볼륨을 가공한 후에 가공해야 한다. 도 23a는 가공 형상과 델타 볼륨 분해 방법에 의해 구한 기본 델타 볼륨을 나타낸다. 주 델타 볼륨은  $V_1$ , 부 델타 볼륨은  $V_2$ , 고유 델타 볼륨은  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $V_5$ 이고, 이러한 기본 델타 볼륨들의 가공 관계를 도 22의 델타 볼륨의 위상 관계에 따라 표현하면 도 23b와 같다.

<74>      델타 볼륨 위상 그래프(dependency graph)는 델타 볼륨간의 위상 관계를 나타내는 그래프이다. 도 23의 예에 대하여 도 24와 같은 위상 그래프를 구할 수 있다. 도 24와 도 23b의 차이점은 부 델타 볼륨과 고유 델타 볼륨간의 관계를 상세히 한 점에 있다. 곧,  $V_4$ 는 반드시  $V_2$  다음에 가공되어야 하지만,  $V_3$ ,  $V_5$ 는  $V_2$ 에 관계없이  $V_1$  다음에만 가공될 수도 있다. 하지만, 고유 델타 볼륨들은 그 특성상 동일한 절삭 공구로 가공될 가능성이 크며, 따라서, 고유 델타 볼륨을 부 델타 볼륨 다음에 가공하면 가공 시 공구 교환 횟수를 줄여 가공 효율성을 높일 수 있다. 이와 같이 델타 볼륨의 위상 관계를 고려하면 가공의 선후 관계를 설정할 필요가 없지만, 가공의 효율성을 위하여 보조적으로 설정한 관계를 보조 의존 관계(auxiliary dependency)라 한다. 이러한 보조 의존 관계를 탐색하는 방법을 아래에 기술한다.

- <75> 델타 블록 분해 방법에 따라 주 델타 블록이 가장 먼저 가공된 후, 부 델타 블록과 고유 델타 블록이 가공된다. 고유 델타 블록의 경우, 부 델타 블록과 보조 의존 관계가 성립하는 지를 살펴보아야 한다. 기술의 편의를 위하여 주 델타 블록을 클래스-A, 부 델타 블록을 클래스-B, 부 델타 블록 다음에 가공되어야 하는 고유 델타 블록을 클래스-C, 부 델타 블록과 보조 의존 관계에 있는 고유 델타 블록을 클래스-D에 속한다고 하자(도 25a). 주 델타 블록과 부 델타 블록의 경우, 각각 클래스-A와 클래스-B에 속하는 것이 명확하지만, 고유 델타 블록의 경우 클래스-C에 속하는지 클래스-D에 속하는 지 탐색을 하여야 한다.
- <76> 보조 의존 관계 여부의 탐색 방법은 다음과 같다. 델타 블록 분해 과정에서 델타 블록의 윤곽의 모든 세그먼트에 속성을 설정한다. 어떤 세그먼트가 최종 가공 형상의 윤곽의 일부분이면 속성-A, 주 델타 블록의 윤곽의 일부분이면 속성-B, 부 델타 블록의 윤곽의 일부분이면 속성-C를 설정한다. 세그먼트의 속성 값은 델타 블록 분해 과정에서 갱신된다. 델타 블록 분해가 완료된 후, 고유 델타 블록에 속성-C의 값을 가지는 세그먼트가 존재하면 그 고유 델타 블록은 클래스-C에 속하고, 그렇지 않으면 클래스-D에 속한다.
- <77> 한편, 같은 클래스간의 기본 델타 블록간에는 가공 선후 관계가 존재하지 않고, 다른 클래스간에는 어떤 클래스에 속하는 각각의 기본 델타 블록마다 다른 클래스의 모든 기본 델타 블록과 가공 선후 관계가 존재하기 때문에, 클래스가 아닌 델타 블록 단위로 위상 그래프를 나타내면 도 25b와 같다.
- <78> 공정 순서 그래프(Process Sequence Graph : PSG)는 공정 순서를 그래프로 표현한 것으로, 노드는 가공 공정이나 공정간 실행 관계의 종류를, 아크는 공정간의 선후 관계

를 나타낸다. 공정간 실행 관계에는 And(=Non-sequential), Or(=Selective), Parallel 관계가 있다. 공정 순서 그래프는 델타 블록 위상 그래프로부터 생성된다. 델타 블록 위상 그래프가 델타 블록의 위상 관계, 즉 가공 선후 관계를 나타내기 때문에 이로부터 공정 순서 그래프를 곧바로 유도할 수 있다. 델타 블록 위상 그래프의 공정 순서 그래프로의 변환은 (i) And, Or, Parallel 실행 관계의 설정, (ii) 공정 순서 그래프의 노드 정보의 상세화를 통해 이루어진다.

<79> 먼저, 실행 관계의 설정을 알아보자. 첫째, And 실행 관계는 같은 클래스에 속하는 델타 블록들 사이에 적용된다. 델타 블록 위상 그래프의 속성상 같은 클래스에 있는 델타 블록들은 가공 선후 관계가 존재하지 않고, 다른 클래스에 있는 델타 블록들 사이에만 가공 선후 관계가 존재하기 때문에, 전자의 경우 And 실행 관계를 통해, 후자의 경우 공정 순서 그래프의 아크 자체를 통해 실행 관계를 설정할 수 있다. 둘째, Or 실행 관계는 델타 블록 위상 그래프의 보조 관계를 표현한 것이다. 일반적으로, Or 실행 관계는 가공 대안을 표현하기 위해 사용된다. 가공 대안은 (i) 델타 블록을 다르게 분해하거나 (ii) 델타 블록간의 가공 순서를 다르게 설정하는 것으로 표현된다. 본 논문에서 제안한 델타 블록 분해 방법은 동일한 절삭 공구에 대해 항상 동일한 델타 블록 분해 결과를 생성하고, 절삭 공구는 델타 블록 윤곽의 모노토운 체인의 기준선을 이용하여 선택하였든 사용자가 입력하였든 간에 하나의 주어진 절삭 공구만 고려하므로 델타 블록이 다르게 분해되는 가공 대안은 존재하지 않는다. 단지, 델타 블록간의 가공 순서를 다르게 설정하는 것이 포함된다. 셋째, Parallel 실행 관계는 2 개의 터릿이 있는 선반 복합 가공기에서, 2 개의 터릿에 있는 동일한 공구가 주 델타 블록을 동시에 가공하는 것에만 적용된다.

- <80> 도 26b,c,d는 델타 블록 위상 그래프가 도 26a와 같을 때, 앞서 기술한 And, Or, Parallel 실행 관계를 반영하여 생성된 공정 순서 그래프이다. 기술의 편의상 도 26b,c,d에 해당하는 공정 순서 그래프를 각각 타입-1, 타입-2, 타입3 PSG라고 하자. 타입-1 PSG는 클래스-A → 클래스-B → 클래스-C, 클래스-D 의 순으로 가공하는 것을 나타낸다. 클래스-C와 클래스-D의 가공 선후 관계는 존재하지 않고, 둘 다 클래스-B 다음에 가공되어야 하는 것은, 공정 순서 그래프의 보조 관계를 반영한 것이다. 반면, 타입-2 PSG는 공정 순서 그래프의 보조 관계를 반영하지 않은 것이다. 타입-3 PSG는 선반 복합 가공기에서 주 델타 블록을 2 개의 공구가 동시에 가공하는 경우를 나타낸다. 한편, 공정 순서 그래프는 가공을 위한 모든 정보를 담고 있는데, 가공 순서를 제외한 다른 정보는 모두 노드에 포함되어 있다. 도 27은 선반 가공을 위한 공정 순서 그래프의 노드의 종류와 정보를 나타낸다.
- <81> 선반 복합 가공기에서의 동시 가공은 (i) 하나의 델타 블록을 2 개의 공구가 동시에 가공하는 것이나 (ii) 다른 델타 블록을 2 개의 공구가 동시에 가공하는 것을 의미한다. 본 발명에서 선반 복합 가공기에서의 동시 가공에 대해서는 첫째, 델타 블록 분해 방법에서의 기계 구성을 고려한 윤곽을 분할과 둘째, 공정 순서 그래프의 타입-3 공정 순서 그래프의 주 델타 블록의 동시 가공에서 고려되었다.
- <82> 공정 순서 그래프는 선반 복합 가공기에서의 동시 가공을 위한 기본적인 정보만을 가지고 있을 뿐, 완전한 정보, 즉, 델타 블록이 어느 터릿의 절삭 공구에 의해 언제 가공되어야 하는 가는 가지고 있지 않다. 이는 공정 순서 그래프로부터 선반 복합 가공기의 2 개 터릿을 위한 동시 가공 순서는 별도의 방법에 의해 결정되어야 한다는 것을 의미한다. 이 때, 동시 가공 순서 결정 방법은, 하나의 델타 블록을 2 개의 공구가 동시에

가공하는 것은 공정 순서 그래프에 명시되어 있지 않는 한 처리하지 않고, 다른 델타 블록을 2 개의 공구가 동시에 가공하는 순서만을 결정하는 것으로 제한한다. 왜냐하면, 주 델타 블록을 제외한 다른 델타 블록은 블록의 크기가 작고, 서로 가공 선후 관계가 거의 존재하지 않기 때문에 동일한 델타 블록을 2 개의 공구가 동시에 가공하는 것보다 다른 델타 블록을 2 개의 공구가 동시에 가공하는 것이 보다 효율적일 것이기 때문이다. 동시 가공 순서 결정은 이상 상황 처리, 공구 경로 생성 등과 함께 별도의 연구되어야 할 부으로, 본 발명에서는 동시 가공 순서 결정의 한 방법을 제시하는 간단한 휴리스틱 방법만을 다룬다.

<83> 도 27a와 같은 구조의 선반 복합 가공기는 도 27b와 같이 8 개의 MU(machining unit)을 가진다. 동시 가공 순서 결정은 각 MU에 공정 순서 그래프의 순서가 있는 작업을 할당하는 문제로 볼 수 있다. 아래 방법은 가공 순서를 고려하여 각 MU에 작업을 할당하는 휴리스틱 방법이다.

<84> T : 현재 시각

<85> AMU(t) : 시각 t에서 사용 가능한 MU의 집합

<86> RMU(t) : 시각 t에서 실행 중인 MU의 집합

<87> NOP(t) : 시각 t에서 실행될 수 있는 작업의 집합

<88>  $t_j$  : 작업j의 처리 시간

<89> OSR : 작업선택 규칙

<90> MSR : MU 선택 규칙

<91> 단계 1.  $T = 0$  으로 설정한다.

- <92> 단계 2. 초기 셋업을 임의로 선택한다.
- <93> 단계 3. 사용 가능한 MU를 선택하고  $AMU(T)$ 에 추가한다.
- <94> 단계 4. 실행 될 수 있는 작업들을 탐색하여  $NOP(T)$ 에 추가한다.
- <95> 단계 5. OSR에 의해 작업을 선택한다. 선택한 작업을 OP라 한다.
- <96> 단계 6. MSR에 의해 MU를 선택하고  $RMU(T)$ 에 추가한다. 선택한 MU를 M이라 한다.
- <97> 단계 7.  $AMU(T) = AMU(T) \setminus M$ ,  $NOP(T) = NOP(T) \cup OP$ .
- <98> 단계 8.  $AMU(T)$ 가 비어있지 않으면, 단계 3-7을 반복한다.
- <99> 단계 9. 만일  $AMU(T)$ 가 비어 있으면, T를 갱신한다.  $T = T + \min \{ t_j : j \in RMU \text{의 작업들} \}$
- <100> 단계 10. 만일 모두 작업이 처리되었으면 종료하고, 그렇지 않으면 단계 4로 간다.
- <101> 가공 시간이 도 28, 공정 순서가 도 29와 같고, 도 27의 선반 복합 가공기에서 가공을 할 때, 상기에서 기술한 휴리스틱 방법을 이용하면 도 30과 같은 동시 가공 순서를 얻을 수 있다.
- <102> 상기에서 기술한 공정 계획은 황삭과 정삭에 적용가능하다. 일반적으로 선반 가공에서는 황삭, 정삭과 별도로 필요하다. 2차 정삭이 필2차 정삭 공정 계획은 설계 도면에 표기되어 있는 허용 오차와 표면 조도를 반영하기 위한 것이다. 전체적인 공정은 황삭 → 정삭 → 측정 → 2차 정삭의 순서로 이루어진다.
- <103> 선반 도면의 허용 오차는 도 31과 같이 2 가지 방법으로 표기된다. 도 31a의 경우, 기준면이 A일 때, 정밀한 가공이 요구되는 중요면은 A, C이다. 가공 방법은 A, B, C, D 모두 0.5의 여유량을 남기고 황삭 가공을 한 후, A, B, D는 여유량 0.0, C는 여유량 0.2



를 남기고 정삭 가공을 한다. 정삭 가공 후, A-C를 측정하고 결과에 따라 절삭량을 정하여 C를 2차 정삭 가공한다. 도 31b도 비슷한 방법에 의해 가공한다. 단, 이 때의 중요면은 B, C가 된다.

- <104> 표면 조도는 도 32와 같이 도면에 표기되는 것으로, 대상물의 표면에서 임의로 샘플링한 각 부분에서의  $R_a$ ,  $R_{max}$  또는  $R_z$ 의 각각의 산술평균값으로 나타낸다. 각 표면 조도 값의 대응은 도 33과 같다. 표면 조도를 나타내는 기호를 거칠기 기호라 하는데, 거칠기 기호가 표기된 면은 황삭, 정삭을 마친 후 설정된 표면 조도를 고려하여 적절한 공구와 가공 조건을 설정하여 2차 정삭 가공을 수행한다.
- <105> 허용 오차와 표면 조도를 반영하기 위한 2차 정삭은 가공 면을 선택하고, 적절한 공구와 절삭 조건을 설정하는 동일한 작업이다. 아래 방법은 허용 오차와 표면 조도를 반영하는 2차 정삭 공정 순서 그래프를 생성하는 방법이다.
- <106> 단계 1. 중요면을 찾는다. 허용 오차와 관련된 면의 집합을  $S_T$ , 표면 조도와 관련된 면의 집합을  $S_F$ 라 한다.
- <107> 단계 2.  $S_T$ ,  $S_F$ 의 각 면에 대하여 절삭 공구를 설정한다.
- <108> 단계 3. 같은 공구를 사용하는 면들을 그룹핑한다.  $\rightarrow S_1, \dots, S_n$  ;  $n$  = 공구의 개수
- <109> 단계 4. 각  $S_i$ 의 면에 대하여 가공 순서를 결정하고, 그 결과를  $L_i$ (ordered list)라 한다.
- <110> 단계 5.  $L_i$ 을 And 실행관계로 연결한다.
- <111> 상기 방법의 결과인 2차 공정 순서 그래프는 도 34와 같다.

<112>      상기에서는 간단한 가공 형상에 대한 공정 순서 그래프를 구하였다. 다음에서는 선반 가공에서 복잡한 형상으로 간주되는 형상을 대상으로 공정 계획을 생성하는 예를 기술한다. 특히, 선반 복합 가공기에서의 동시 가공을 위하여 델타 볼륨을 분해하고, 이를 바탕으로 공정 순서 그래프를 생성한다. 도 35는 델타 볼륨 분해 과정을, 도 36은 생성된 타입-1, 타입-2, 타입-3 공정 순서 그래프와 총괄 공정 순서 그래프를 보여준다. 도 35에서 가공 형상의 상반(upper-half) 윤곽이 (a)와 같을 때, 먼저 chucking할 부분을 결정하여 현재 셋업에서 가공할 부분을 결정한다. 수직선 P의 오른쪽 부분이 현재 셋업에서 가공할 부분이다. 또한, 2 개의 터릿을 이용하여 동시 가공을 할 것이므로 Q의 부분에서 델타 볼륨을 분할한다. 그 후, 각각의 델타 볼륨에 대해 다음의 과정을 행한다. 고유 델타 볼륨을 찾고(b), 채움 작업을 수행하여 윤곽을 갱신한 다음, 최대 모노톤운 체인을 구하고, 최대 모노톤운 체인에 해당하는 주 델타 볼륨을 계산하고(c), 미절삭 델타 볼륨을 구한다(d). 이 때, 미절삭 델타 볼륨에 대해 다시 미절삭 델타 볼륨이 생길 수 있다(e). 분해된 모든 델타 볼륨의 합은 소재에서 최종 가공 형상을 얻기 위한 델타 볼륨과 동일하다(f). 위 결과로 델타 볼륨 위상 그래프를 생성하고, 이로부터 상기에 기술된 방법에 따라 타입-1, 타입-2, 타입-3 공정 순서 그래프를 생성한 것이 도 36a,b,c 이고, 최종 결과는 도 36d의 총괄 공정 순서 그래프이다.

<113>      본 발명에서 제안한 델타 볼륨 분해 방법 및 공정 계획 생성 방법을 이용한 선반용 SFP 시스템의 운용 시나리오를 IDEF0 다이어그램으로 나타내면 도 37 내지 도 43과 같다. 선반용 SFP 시스템의 입력은 AP203 2D CAD 파일이고, 출력은 ISO 14649 파트 프로그램이나 SFP 시스템이 장착된 제어기의 내부 데이터가 된다(A0). 입력에서 출력에 이르는 일련의 과정은 최종 형상의 설계 데이터를 구하고(A1), 기계 자원을 설정한 다음(A2),

델타 블록을 분해하고(A3), 공정 계획을 수립한 다음(A4), 파트 프로그램을 생성하는 (A5) 것이다.

- <114> 각 단계를 상세히 살펴보면, A1에서는 AP203 표준을 따르는 소재 형상 파일과 최종 가공 형상 파일을 읽어서, 내부 형상 모델링 데이터로 변환하고(A11), 오퍼레이션 (operation) 가공특징형상을 입력한 후(A12). 허용 오차와 표면 조도 값을 입력한 다 (A13). 오퍼레이션 가공특징형상은 thread나 knurl과 같이, 델타 블록 분해와는 별개로, 보통 다른 부분의 가공이 끝난 후 전용 절삭 공구로 가공되는 가공특징형상을 말한다.
- <115> A2에서는 기계 구성을 선택하고(A21), 사용할 공구를 설정한다(A22). 기계 구성 선택은 선반 복합 가공기를 고려하기 위한 것이다. 공구 설정은 공구 설정 DB에 있는 공구 중 가공에 사용할 공구를 선택하고, 터릿에 장착하는 방법을 결정하는 것이다. 이때, 공구 DB는 선반 홀더와 인서트의 규격을 정의하는 ISO 2851에 따라 공구 정보를 입력하여 생성된다. 공구의 절삭 가능 영역은 ISO 2851의 규격에 따라 계산된다. 공구 DB 생성은 시스템 구동과는 별도로 처리되는 과정이다.
- <116> A3에서는 기계 구성과 소재 형상, 최종 가공 형상 정보를 고려하여 셋업 위치와 윤곽 분할 위치를 설정하고(A31), 델타 블록 분해 방법에 따라 델타 블록을 분해한 후 (A32), 현장 작업자의 판단에 따라 분해된 델타 블록을 편집한다(A33).
- <117> A4에서는 델타 블록으로부터 델타 블록 위상 그래프를 생성하고(A41), 이로부터 공정 순서 그래프를 생성한 후(A42), 현장 작업자의 판단에 따라 생성된 공정 순서 그래프를 편집한다(A43).

<118> A5에서는 공정 순서 그래프로부터 내부 데이터베이스를 생성하고(A51), ISO 14649

파트 프로그램을 생성한 후(A52), 생성된 파트 프로그램을 검증한다(A53).

<119> 한편, 전체 운용에서 고려되어야 할 중요한 점은 델타 블록 분해를 포함한 공정 계획 수립은 완전 자동보다 사용자와의 상호 작용이 포함된 반 자동 방법이 바람직하다는 것이다. 사용자가 수정하거나 결정하는 것이 요구되는 부분은 (i) 몇 번의 셋업으로 가공할 것인가를 판단하는 부분; (ii) 2 번의 셋업이나 2 개의 터릿으로 가공 할 때, 윤곽의 분할 위치; (iii) 분해된 델타 블록의 수정; (iv) 사용할 절삭 공구의 결정; (v) 가공 순서의 변경; (vi) 절삭 파라미터의 결정 또는 수정이 있다. 예를 들어, 2개의 터릿을 사용하여 가공할 때, 터릿간의 가공 영역의 간섭을 배제하기 위하여 가공 영역을 2 개로 분할하는 것이 필요할 때, 델타 블록의 면적을 이용하여 영역을 자동 분할 할 수도 있지만, 사용자가 판단하여 입력할 수도 있다.

#### 【발명의 효과】

<120> 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 선반 자동 가공을 위한 델타 블록 분해 및 공정 계획 수립에 관한 방법에 의하면, 공구를 고려하여 델타 블록을 분해하여, 분해 결과가 가공에 적합하지 못하거나 가공을 위해 후처리가 필요한 종래의 문제점을 극복하여 선반 가공의 실제적인 측면을 반영한 델타 블록 분해, 비선형 공정계획 수립, 허용오차나 표면 조도 처리를 위한 2차 정삭 가공 계획 수립을 자동으로 생성할 수 있는 이점을 가진다.

**【특허청구범위】****【청구항 1】**

선반 머시닝 센터를 이용한 선삭 가공에서 공정 계획을 자동 생성하는 방법에 있어서,

소재와 최종 가공 형상을 나타내는 CAD 형상 데이터로부터 유효한 가공 윤곽을 인식하는 단계;

머시닝 센터의 구성 및 소재의 척고정 방법을 설정하는 단계;

상기 기계 구성에 따라 가공 윤곽을 분리하고, 각 가공 윤곽에 해당하는 델타 볼륨을 분해하는 단계;

상기 분해된 델타 볼륨으로부터 델타 볼륨 위상 그래프를 생성하는 단계;

상기 델타 볼륨 위상 그래프로부터 비선형 공정계획을 수립하는 단계;

상기 형상 데이터에 없는 정보를 사용자가 입력 및 델타 볼륨, 공정 계획을 편집하는 단계; 및

상기 비선형 공정 계획을 포함하는 ISO 14649 파트 프로그램으로 자동 생성하는 단계를 포함하는 델타 볼륨 분해 및 공정 계획을 자동으로 생성하는 방법.

**【청구항 2】**

제 1 항에 있어서,

상기 델타 볼륨을 분해하는 단계는,

상기 가공 윤곽 정보로부터 고유 델타 볼륨을 분해하고 가공 윤곽 정보를 갱신하는 단계;

상기 갱신된 가공 윤곽 정보와 절삭 공구 정보로부터 주 델타 볼륨과 미절삭 델타 볼륨을 분해하는 단계; 및

상기 미절삭 델타 볼륨을 다른 공구를 이용하여 분해하는 단계를 포함하는 델타 볼륨 분해 및 공정 계획을 자동으로 생성하는 방법.

### 【청구항 3】

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 주 델타 볼륨 및 미절삭 델타 볼륨을 분해하는 단계는,

상기 선반 절삭 공구로부터 절삭 가능 영역을 계산하는 단계;

상기 가공 윤곽 정보를 최대 모노톤운 체인으로 나타내는 단계; 및

상기 최대 모노톤운 체인과 공구의 절삭 가능 영역, 모노톤운 체인상의 특징점으로 부터 주절삭 델타 볼륨과 미절삭 델타 볼륨을 계산하는 단계를 포함하는 델타 볼륨 분해 및 공정 계획을 자동으로 생성하는 방법.

### 【청구항 4】

제 1 항에 있어서,

상기 비선형 공정 계획을 수립하는 단계는,

상기 델타 볼륨을 종류에 따라 주 델타 볼륨, 부 델타 볼륨과 고유 델타 볼륨으로 나누고, 윤곽 속성 정보를 바탕으로 델타 볼륨 위상 그래프를 생성하는 단계;

상기 델타 볼륨 위상 그래프를 기계 구성 정보를 참조하여 가공 오퍼레이션에 대응시키고,

CAD 형상 데이터에 없는 thread와 knurl의 가공을 포함하는 황정삭에 해당하는 비선형 공정계획을 수립하는 단계; 및

표면 조도와 허용 오차를 고려한 2차 정삭 계획을 자동 생성하는 단계를 포함하는 델타 볼륨 분해 및 공정 계획을 자동으로 생성하는 방법.

#### 【청구항 5】

제 1 항 및 제 4 항에 있어서,

형상 데이터에 없는 정보를 사용자가 입력 및 델타 볼륨, 공정 계획을 편집하는 단계는,

상기 가공 윤곽 정보를 계산한 다음 thread나 knurl 정보를 입력하는 단계;

상기 표면 조도와 허용 오차 값을 해당하는 윤곽에 대응시키는 단계; 및

상기 계산된 델타 볼륨과 비선형 공정 계획 그래프를 편집하는 단계를 포함하는 델타 볼륨 분해 및 공정 계획을 자동으로 생성하는 방법.

#### 【청구항 6】

제 1 항에 있어서,

기계 구성에 따라 델타 볼륨을 분해하는 단계는,

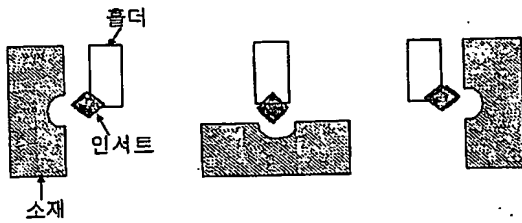
상기 가공 형상에 따라 척고정 위치를 결정하고, 가공 윤곽을 분리하는 단계;

상기 기계의 터릿의 개수와 위치를 고려하여 가공 윤곽을 다시 분리하는 단계; 및

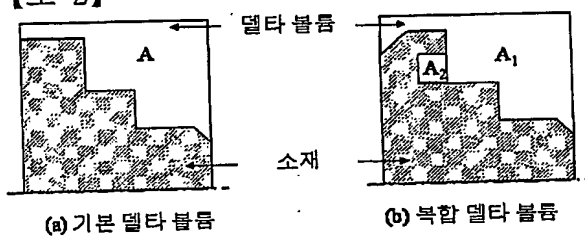
상기 기계의 스피들의 개수를 고려하여 셋업 방법을 결정하는 단계를 포함하는 델타 볼륨 분해 및 공정 계획을 자동으로 생성하는 방법.

## 【도면】

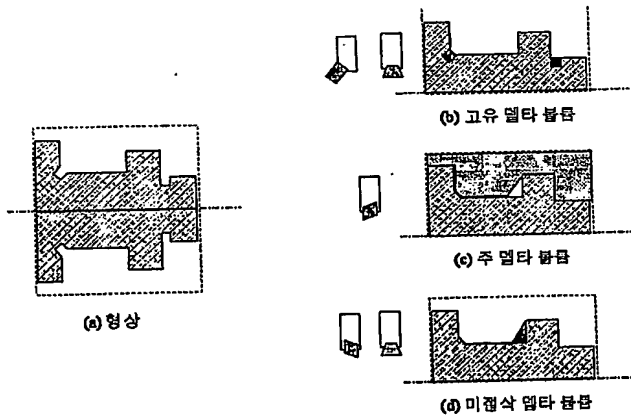
【도 1】



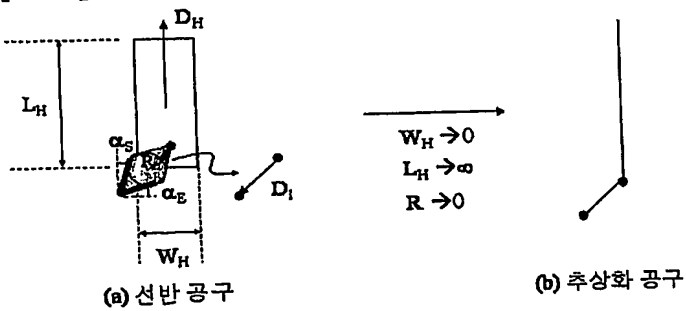
【도 2】



【도 3】



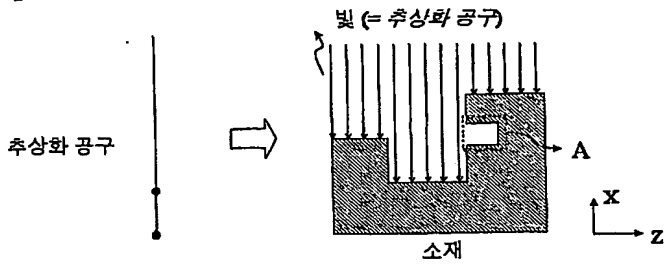
【도 4】



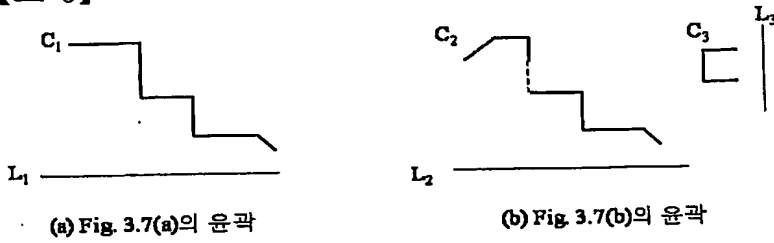
$D_H$ : 홈더 방향	$R$ : 노즈 반경
$L_H$ : 홈더 길이	$\alpha_s$ : 리이드각
$W_H$ : 홈더 너비	$\alpha_E$ : 부절입각
$D_I$ : 인서트 방향	



【도 5】



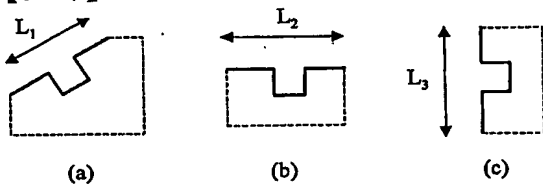
【도 6】



(a) Fig. 3.7(a)의 윤곽

(b) Fig. 3.7(b)의 윤곽

【도 7】

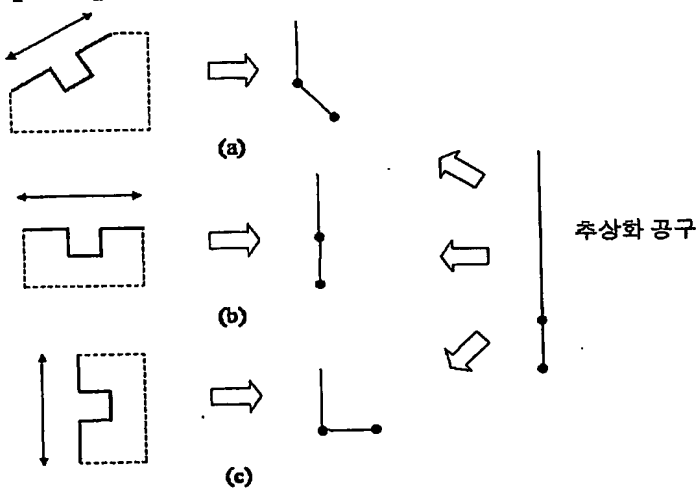


(a)

(b)

(c)

【도 8】



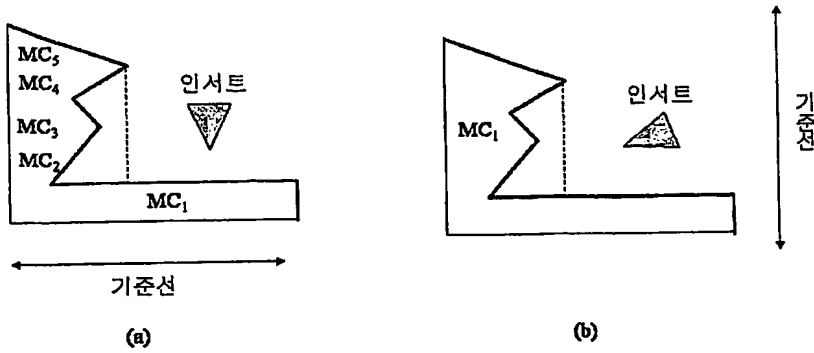
(a)

(b)

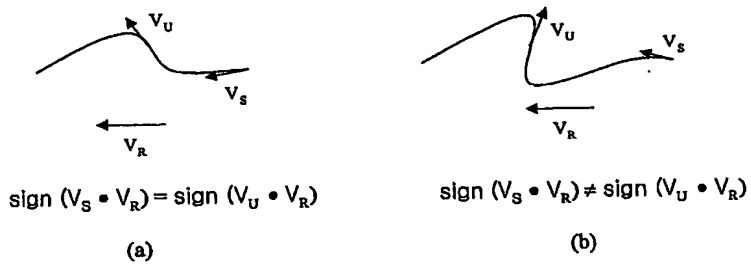
(c)

추상화 공구

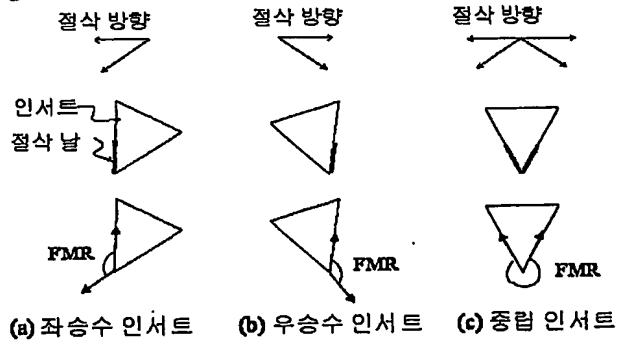
【도 9】



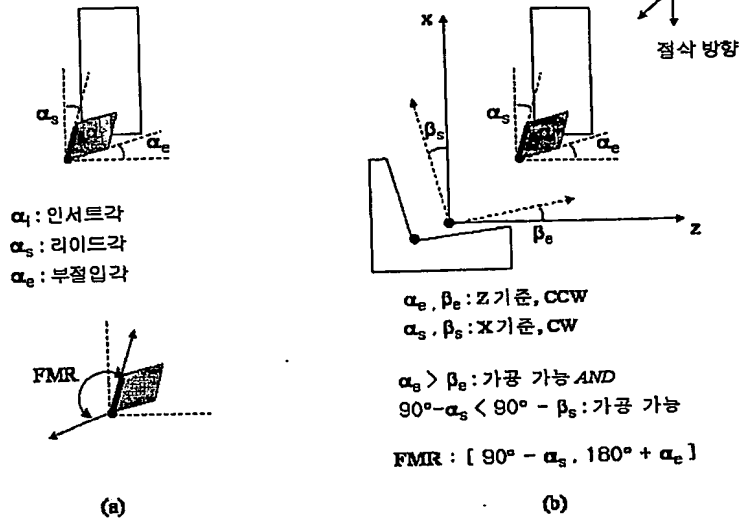
【도 10】



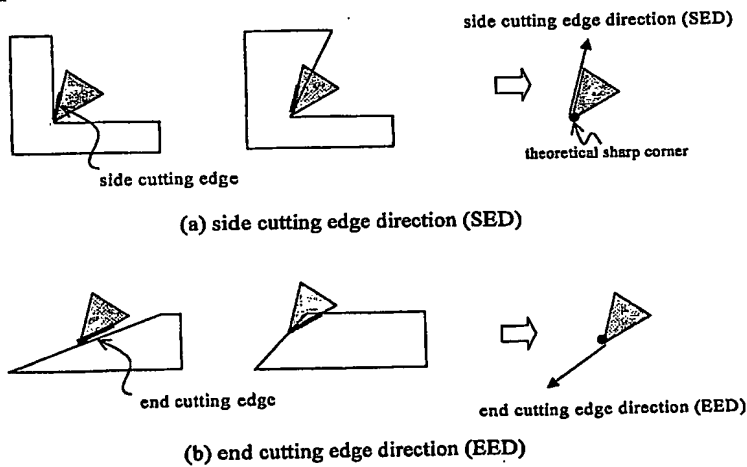
【도 11】



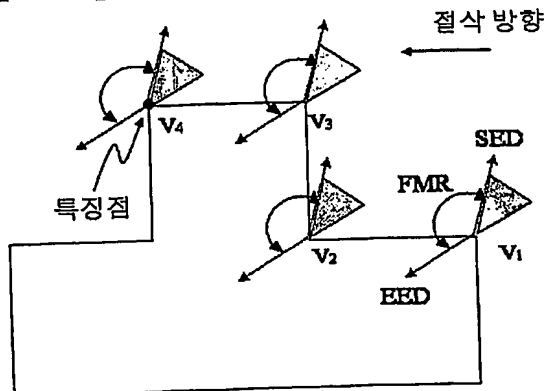
【도 12】



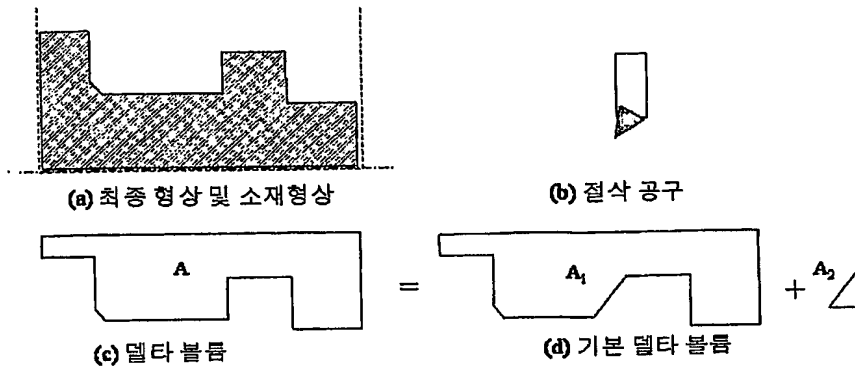
【도 13】



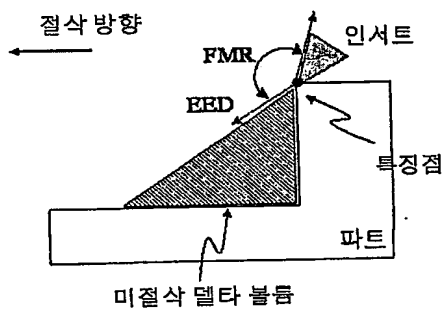
【도 14】



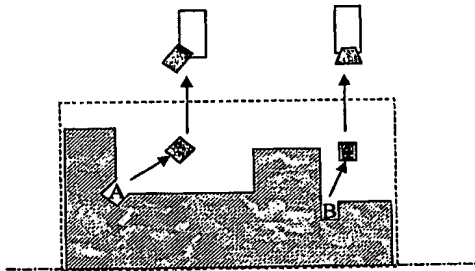
【도 15】



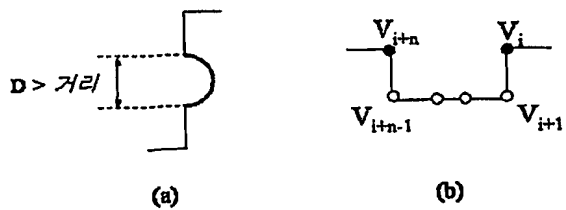
【도 16】



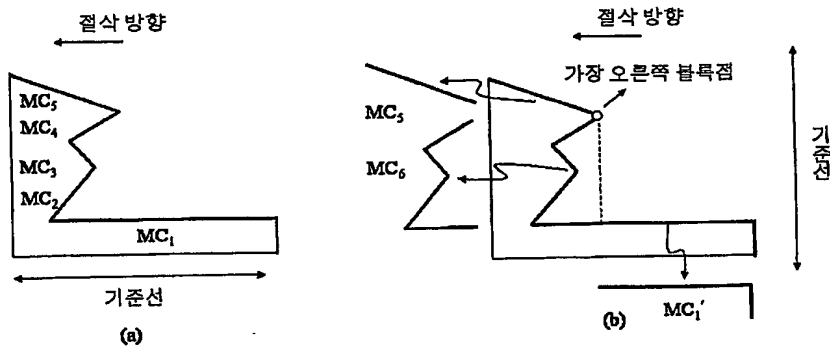
【도 17】



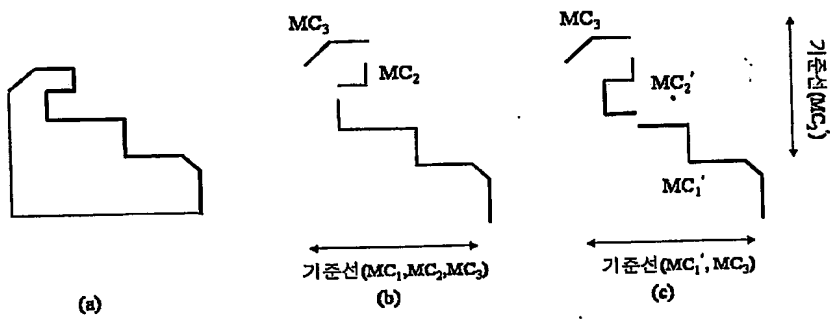
【도 18】



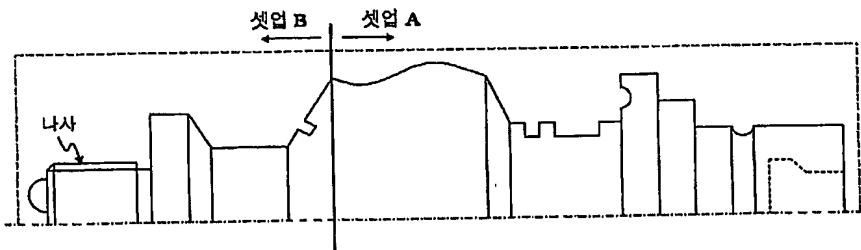
【도 19】



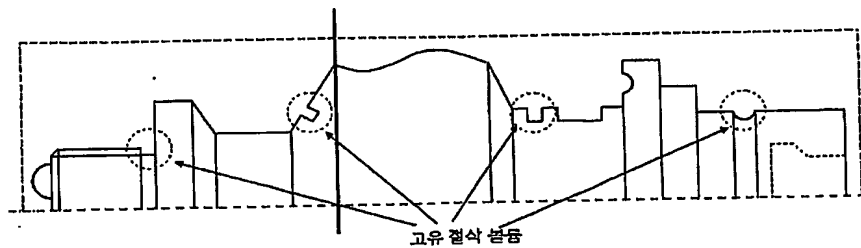
【도 20】



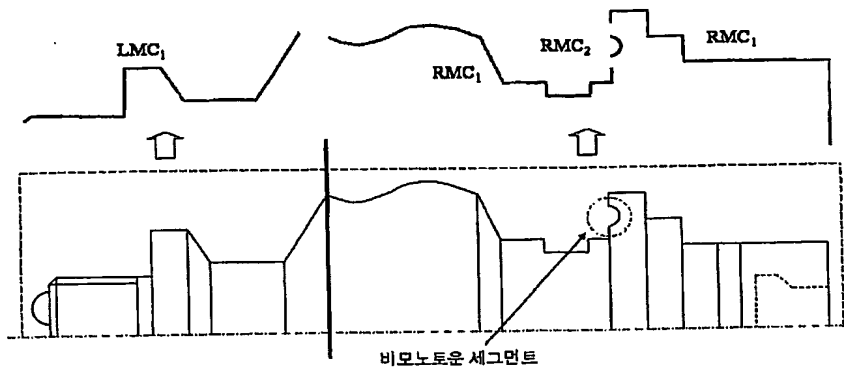
【도 21a】



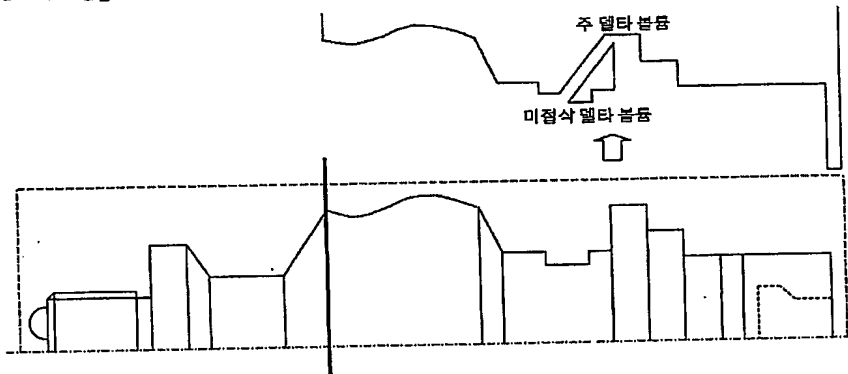
【도 21b】



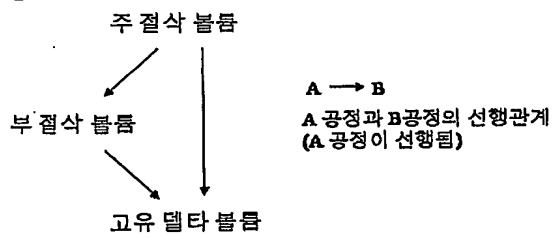
【도 21c】



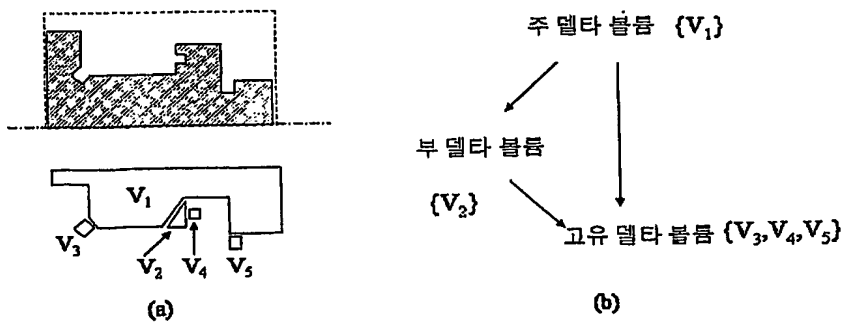
【도 21d】



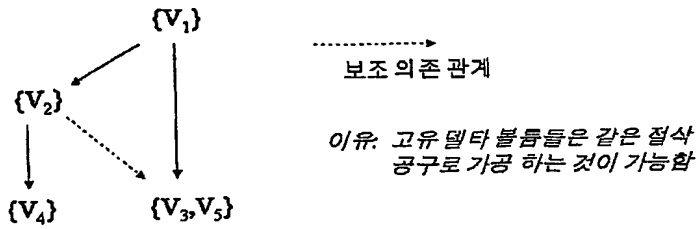
【도 22】



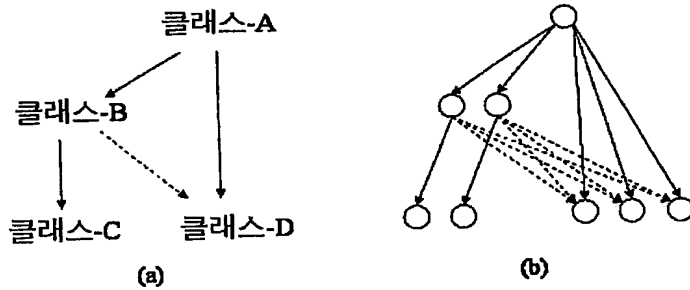
【도 23】



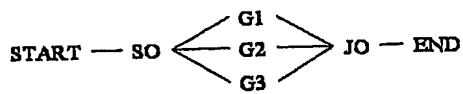
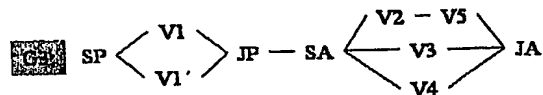
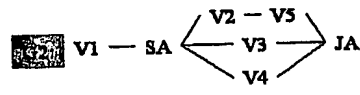
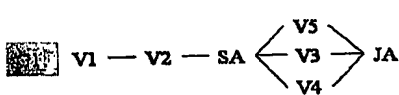
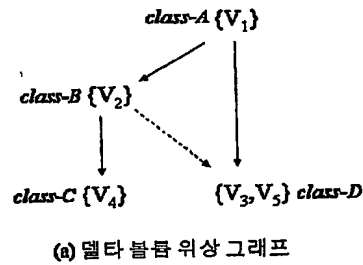
【도 24】



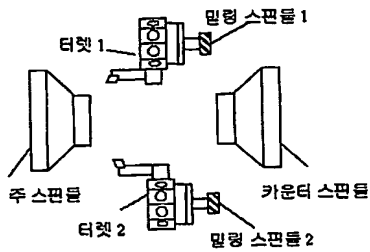
【도 25】



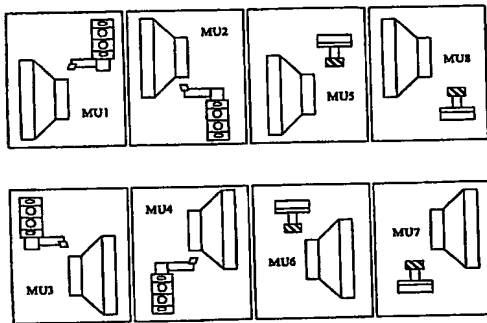
【도 26】



【도 27】



(a) 수평형 밀링/선반 복합 가공기



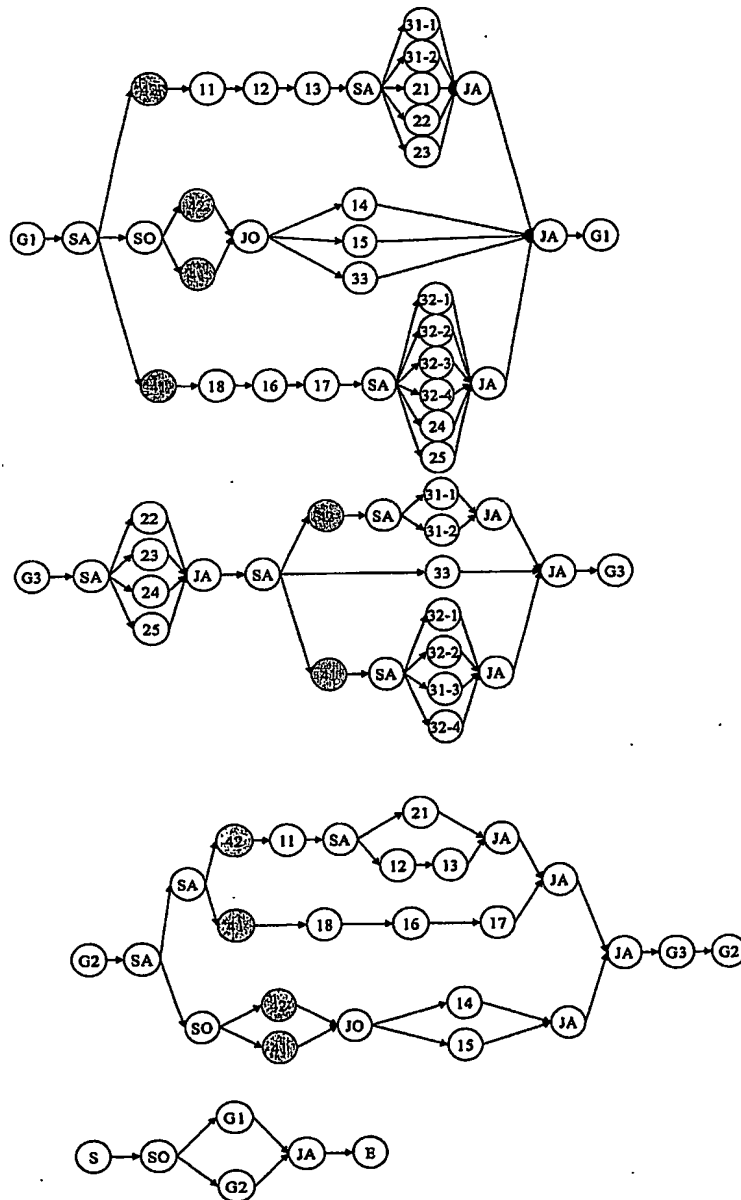
(b) MU(machining unit)

【도 28】

Operation #	Feature #	Op. description	Predecessor	Time
11	1	Facing	42	5
12	2	Rough contouring	11	10
13	2	Finish contouring	12	8
14	3	Grooving	41 or 42	2
15	4	Grooving	41 or 42	2
16	5	Rough contouring	18	15
17	5	Finish contouring	16	10
18	6	Facing	41	5
21	7	Inner contouring	42	5
31-1, 31-2	8,9	Milling	13	8 x 2
33	10	Milling	41 or 42	3
32-1, 32-2, 32-3, 32-4	12,13,14,15	Milling	17	3 x 4
22	16	Grooving	13	2
23	17	Grooving	13	2
24	18	Grooving	17	2
25	19	Grooving	17	2
41	None	Clamping (setup)	None	5
42	None	Clamping (setup)	None	5



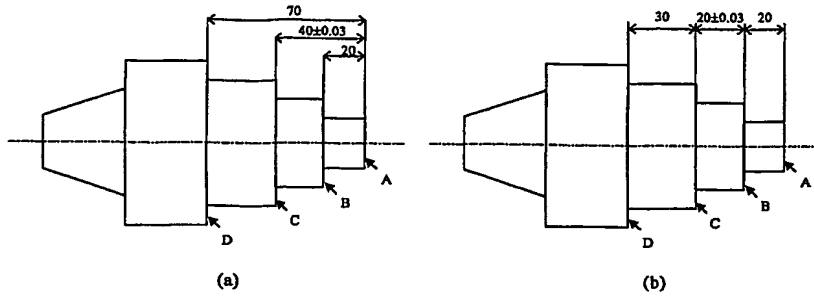
【도 29】



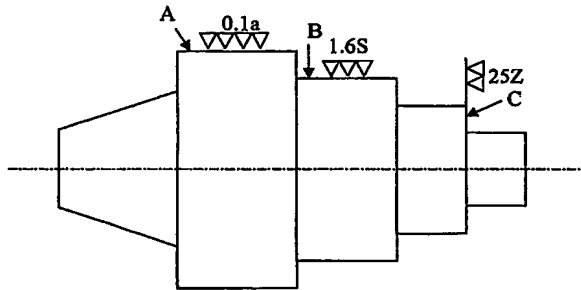
【도 30】

MU	TIME									
MU1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
MU2										
MU3										
MU4										
MU5										
MU6										

【도 31】

일반공차:  $\pm 0.1$ 

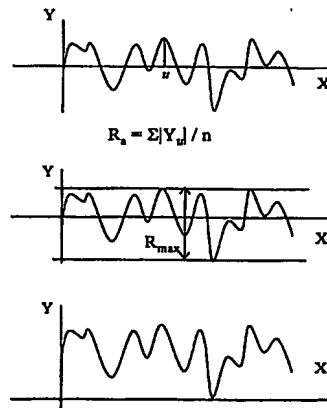
【도 32】



【도 33】

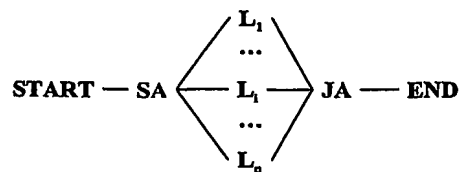
$R_a$	$R_{max}$	$R_z$	삼각기호
0.013a	0.05S	0.05Z	▽▽▽
0.025a	0.1S	0.1Z	
0.05a	0.2S	0.2Z	
0.10a	0.4S	0.4Z	
0.20a	0.8S	0.8Z	
0.40a	1.6S	1.6Z	▽▽
0.80a	3.2S	3.2Z	
1.6a	6.3S	6.3Z	
3.2a	12.5S	12.5Z	▽
6.3a	25S	25Z	
12.5a	50S	50Z	▽
25a	100S	100Z	

(JIS B 0659 - 1973)

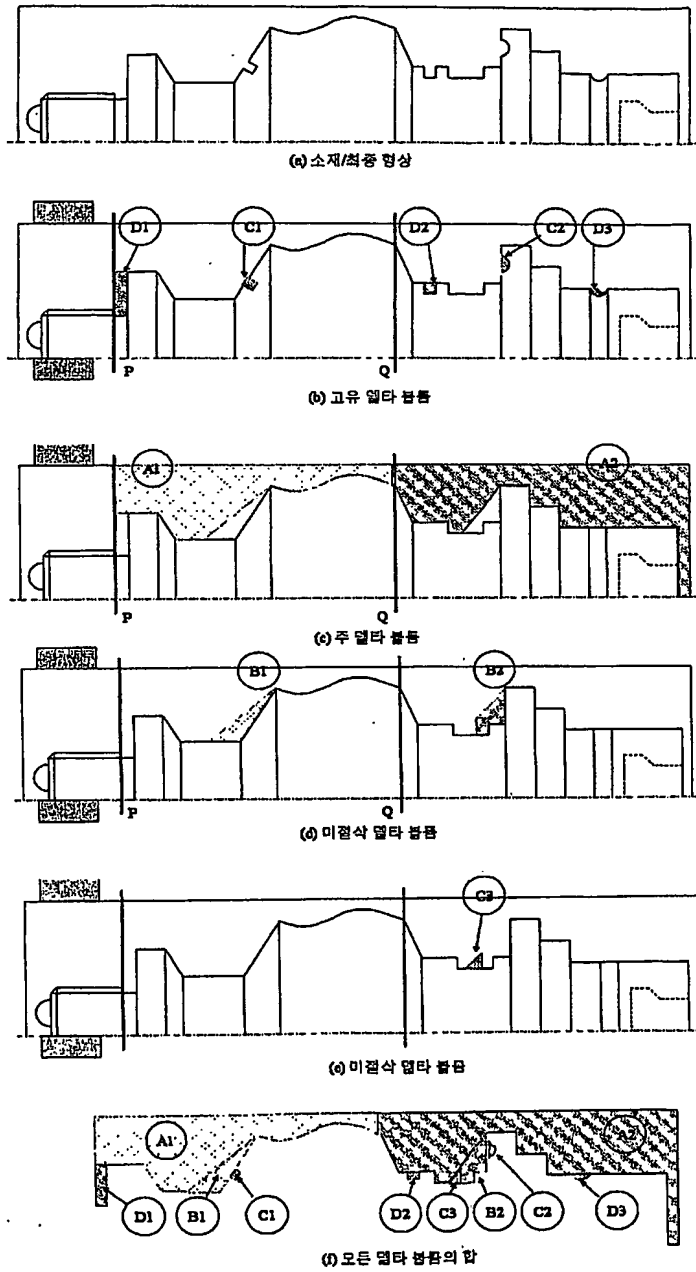


$$R_z = (\text{최고 5개 Y값} - \text{최저 5개 Y값}) / 5$$

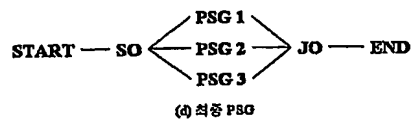
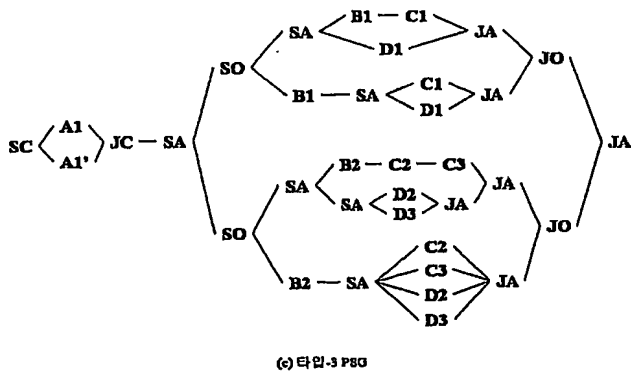
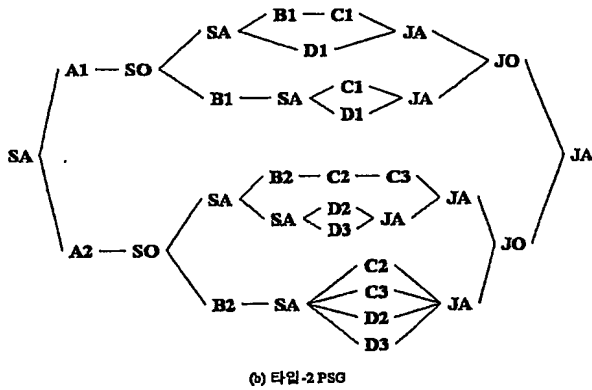
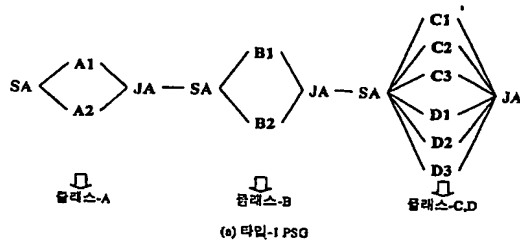
【도 34】



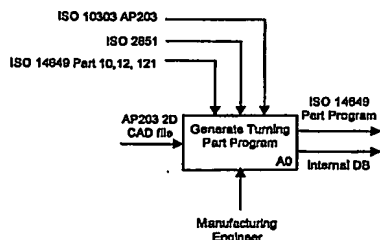
【도 35】



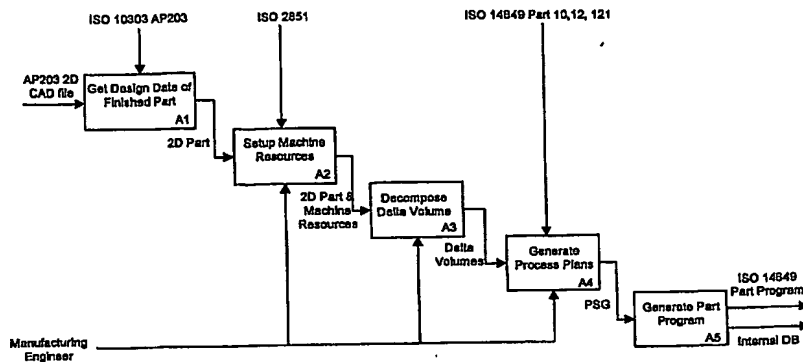
【도 36】



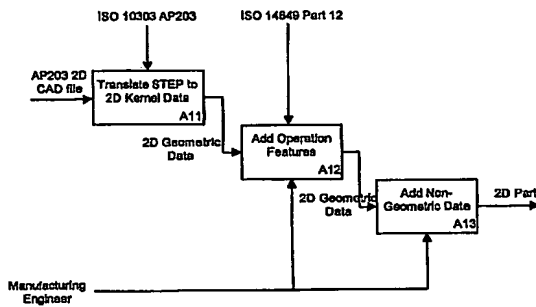
【도 37】



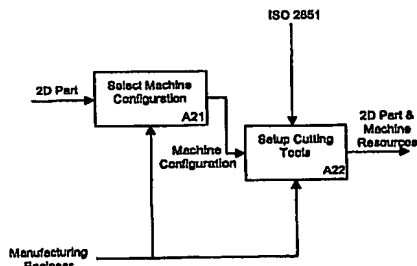
【도 38】



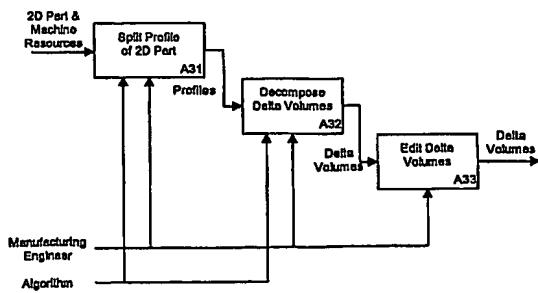
【도 39】



【도 40】



【도 41】



```

graph LR
    DV[Data Volume] --> A41[Generate Delta Volume Dependency Graph A41]
    A41 -- "Dependency Graph" --> A42[Generate Process Sequence Graph A42]
    A42 -- "PSG" --> A43[Edit Process Sequence Graph A43]
    A43 -- "PSG" --> Out[PSG]
    Alg[Algorithm] --> A42
    Alg --> A43
    ME[Manufacturing Engineer] --> A42
    ME --> A43
  
```

```

graph LR
    PSG[PSG] --> A51[Generate Internal DB A51]
    A51 -- Internal DB --> A52[Generate ISO 14849 Part Program A52]
    A51 -- Internal DB --> Out1[Internal DB]
    A52 -- ISO 14849 Part Program --> A53[Verify Part Program A53]
    A53 -- ISO 14849 Part Program --> Out2[ISO 14849 Part Program]
    Alg[Algorithm] --> A51
    Alg --> A52
    Alg --> A53
  
```

The flowchart illustrates the ISO 14849 Part Program Generation Algorithm. It begins with a 'PSG' input to block 'A51: Generate Internal DB'. Block 'A51' outputs an 'Internal DB' to block 'A52: Generate ISO 14849 Part Program' and also outputs an 'Internal DB' directly. Block 'A52' outputs an 'ISO 14849 Part Program' to block 'A53: Verify Part Program'. Block 'A53' outputs the final 'ISO 14849 Part Program'. An 'Algorithm' input is shown at the bottom, with arrows pointing to blocks 'A51', 'A52', and 'A53'.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**